

# 고속 스피들 전동기 구동을 위한 자기식 엔코더 구성에 관한 연구

論 文
54B-5-6

## The Study on the Composition of the Encoder for Driving the High Speed Spindle Motor

李相勳<sup>†</sup> · 崔哲<sup>\*</sup> · 金喆禹<sup>\*\*</sup>  
(Sang-Hun Lee · Cheol Choi · Cheol-U Kim)

**Abstract** - Magnetic encoder with relatively low pulse per rotation is generally used for detecting speed of the high-speed rotating machine. It is due to the fact of the mechanical problems of vibration and bearing stiffness and also the limit of maximum output pulse of the mounted encoder. The magnetic encoder is divided into two types, that is, toothed gear-wheel method and magnetic wheel method according to the shape of the rotation disk. In case of detecting speed by the tooth gear-wheel, the encoder itself can be acted as the additional inertia where the number of tooth determining the output pulse and the width of the wheel detecting the change of the magnetic flux density are relatively enough large considering the volume of the rotating machine. While the magnetic wheel method has the limit of the magnetizing number of the ring magnet, there is relatively few, if any, the influence of inertia on the machine. In this paper, it is proposed a simple magnetic wheel encoder suited for the high speed rotating machine and the method of signal processing and the output characteristics are examined through the V/F operation of max 48,000[rpm] and 2.4[KW] spindle motor.

**Key Words** : Magnetic Encoder, Toothed Gear-Wheel Encoder, Magnetic Wheel Encoder, High Speed Spindle Motor

### 1. 서 론

산업계 전반에 걸친 생산성과 정밀도 향상을 바탕으로 최근 공작기계의 주축에 대한 고속화의 필요성이 관심을 받고 있다. 이 중 고속 가공을 위한 요소 기술로서 고속 스피들 전동기를 응용한 주축의 고속화는 제어기술 분야의 획기적 발전과 더불어 더욱 가속화 되고 있다. 또한 시스템의 운전 속도의 증가에 따른 시스템의 규모는 동일 전력수준에 있어서 보다 소형화 및 경량화 되어지고 있다[1]. 일반적으로 수만 RPM에 이르는 고속 회전체의 경우 속도 검출을 위한 엔코더는 자체에 내장된 볼 베어링의 강성 및 외부 진동과 같은 기구적인 영향 등을 고려할 때 광학식에 비해 자기식 엔코더가 보다 강점을 가지게 된다[2][3].

이와 같은 자기식 엔코더는 축에 취부된 회전판의 구조에 따라 기어휠(toothed gear wheel) 방식 또는 자기휠(magnetic wheel) 방식으로 구분할 수 있으며, 전동기의 속도 및 회전에 따른 자속 밀도의 변화를 일정 간격을 두고 위치한 자기검출소자가 비접촉 상태에서 구형파의 형태로 출력 가능하므로 고속 회전축의 속도 검출에 적합하다. 그러나 일정속도 이상의 고속 영역에서는 높은 S/N비를 갖는 자기

식 엔코더라 하더라도 자속밀도의 변화에 대한 출력펄스의 대칭성을 상실하게 되므로 속도검출에 한계를 가지게 된다[3]. 이러한 문제를 해결하기 위해 Kume등은 일정속도이하에서는 엔코더를 통한 속도검출을 수행하고, 일정속도이상에서는 엔코더의 속도정보를 직접적으로 요구하지 않는 V/F 제어를 수행하는 이른바 이중 구동모드를 적용하였으며[3], Bae등은 전 운전영역에서 센서리스 운전에 의한 간접적인 위치 및 속도검출을 수행한 바 있다[4]. 그러나 스피들 전동기와 같은 고속 회전체의 경우 센서를 이용하여 직접적인 속도 검출이 가능한 고속 영역에서의 속도 정보는 회전체의 상태를 파악하는데 필수적인 요소로 간주될 수 있다.

본 논문에서는 고속 회전체의 속도 검출을 위해 자기휠 방식에 기반한 자기식 엔코더를 제안하였다. 이는 기존의 기어휠 방식에 의한 속도 검출의 경우 출력 펄스열을 결정하는 기어수와 자속 밀도의 변화를 감지하기 위한 휠의 폭이 회전체의 체적에 비해 충분히 큰 경우, 즉 소형 스피들 전동기인 경우, 엔코더 자체가 전동기에 부가적인 관성으로 작용할 수 있다. 반면 자기휠 방식은 출력 펄스 검출을 위한 착자 개수가 기어휠 방식에 비해 실제 구현상의 제약 조건으로 작용하지만, 이로 인한 자체 관성의 영향을 배제할 수 있을 뿐 아니라 일반적으로 제조상의 비용 경제적인 측면에서도 기어휠 방식이 자기휠 방식에 비해 고가이다. 그러나 자기휠 방식은 기존의 자기 센서로 사용되는 홀소자의 배치 및 이에 따른 출력 신호의 상관관계를 근거로 할 때 1회전당 펄스수가 충분하지 못하여 저속에서의 속도 검출은 한계가 있으며, 회전속도와 방향에 따른 속도 정보를 처리하는데 있어서 번거로움을 수반할 수 있다[4].

† 교신저자, 正會員 : OTIS-LG 엘리베이터 모터설계팀  
E-mail : shlee@otis.co.kr

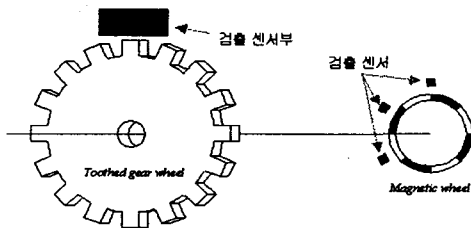
\* 正會員 : OTIS-LG 서보 R&D팀 부장

\*\* 正會員 : 부산대학교 전자전기통신공학부 교수  
接受日字 : 2005年 1月 24日  
最終完了 : 2005年 3月 10日

따라서 제안된 내용에서는 기존의 자기휠 방식을 통한 속도처리에 있어서 회전방향과 속도검출을 위해 부가적으로 요구되는 알고리즘을 대체할 수 있는 새로운 논리 구성을 제시하였다. 성능 평가를 위해 제작한 자기식 엔코더를 최대 48,000[rpm], 2.4[Kw]의 시험 전동기에 취부하여 전동기 구동시 검출되는 120도 위상차를 갖는 3개의 위치 정보로부터 회전 속도와 방향에 따라 상호 직교하는 2개의 펄스열 A, B로 변환함으로써, 이 신호를 제어기내에서 직접적인 속도 정보로 사용할 수 있음을 보였고, 전동기의 운전 주파수에 따른 엔코더의 출력특성을 실험을 통해 함께 고찰하였다.

2. 본 론

그림 1은 기어휠(toothed gear wheel) 방식 또는 자기휠(magnetic wheel) 방식으로 구분되는 자기식 엔코더의 개념적인 구조를 각각 나타낸 것이다. 전동기의 속도 및 회전시 자기식 엔코더는 자기 저항의 차로 발생하는 자속 밀도의 변화를 일정 간격을 두고 위치한 자기검출부에서 구형파의 형태로 출력하게 된다.



(a) 기어휠 방식 (b) 자기휠 방식  
 (a) toothed gear-wheel method (b) magnetic wheel method  
 그림 1 자기식 엔코더 구성

Fig. 1 The composition of magnetic encoder

기어휠 방식의 경우 전동기 회전시 검출할 수 있는 출력 펄스수는 자기휠 방식에 비해 상대적으로 큰 반면 언급한 바와 같이 취부되는 전동기의 크기에 따른 제약과 함께 비용부담 측면에서는 불리하다. 그러나 자기휠 방식을 적용한 경우는 자기휠의 취부와 이를 검출하는 검출센서부의 구성이 기어휠 방식에 비해 용이할 뿐 아니라 저가로 구성할 수 있는 장점을 가진다.

2.1 기존의 자기휠 방식에 의한 펄스 검출  
 2.1.1 2개의 홀소자를 사용한 경우

홀 소자를 사용한 자기식 엔코더는 그림 2와 같이 2개의 홀 소자를 착자된 자기휠 부근에 배치함으로써 회전속도에 비례하는 펄스열을 검출할 수 있다. 그리고 홀소자 H1과 H2에서 검출되는 펄스열은 회전 방향에 따라 상대적으로 90도의 위상차를 가지고 90도 앞섬 혹은 뒤짐의 관계를 나타낸다. 이때 H1과 H2의 배치에 의해 얻어지는 1회전당 펄스수는 식(1)과 같이 구할 수 있고, 착자된 원형자석을 8극으로 한 경우 검출되는 펄스수는 최대 4[ppr]이 된다.

$$x = \frac{m}{2} [ppr] \tag{1}$$

여기서  $m$ 은 원형자석의 착자수가 된다.

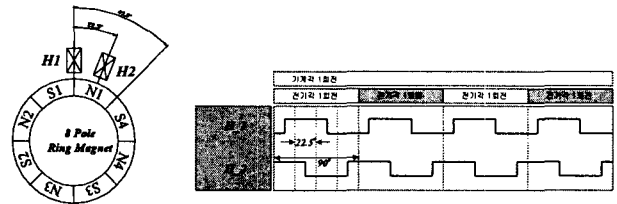


그림 3 2 개의 홀소자를 이용한 펄스열 검출  
 Fig. 3 Pulse train detection base on 2 hall effect sensors

2.1.2 3개의 홀소자를 사용한 경우

그림 3과 같이 3개의 홀 소자를 사용한 경우 각각 120도의 위상차를 가지는 3개의 펄스열을 얻을 수 있다. 검출된 3개의 펄스열을 XOR(Exclusive OR)로 논리구성을 할 경우, 홀 소자 A, B, C는 매 15° 마다 자극의 변화를 감지하게 되므로 그림 2와 같이 2개의 홀 소자를 사용한 경우에 자극 변화 감지를 위한 최소각 22.5°에 비하여 전기각 1회전당 분해능은 증가하게 된다. 그러나 이 방식은 그림 2와 같이 상호 직교하는 펄스열을 직접적으로 얻을 수 없기 때문에 회전 방향에 대한 정보를 얻을 수 없게 된다. 기존에 소개된 방법으로 회전 방향을 판단하기 위해서는 제어기내에서 링 카운터 방식의 알고리즘을 적용하여 매 15°의 자극 변화에 따라 각각의 홀 소자가 출력하는 바이너리 코드를 3비트 정보로 조합하고, 이를 위치 정보로 처리하는 방법이 있다. 이때 얻어진 위치정보를 바탕으로 링 카운터를 구성하여 전동기 회전에 따른 자극 변화시 현재의 위치 정보를 기준으로 정방향 혹은 역방향을 판단하게 된다. 또한 전동기 회전시 속도 검출을 위해 해당 홀 소자의 출력 펄스에 대한 펄스폭을 별도의 인터럽트 과정을 통해 모니터링을 수행해야 한다. 따라서 속도검출 및 회전 방향정보를 처리함에 있어서 번거러움을 수반하게 된다.[4]

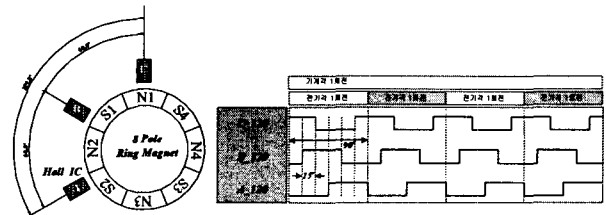


그림 4 3개의 홀소자를 이용한 펄스열 검출  
 Fig. 4 Pulse train detection base on 3 hall effect sensors

2.2 제안된 방식

본 논문에서는 상술한 바와 같이 기존의 자기식 엔코더가 갖는 특징을 이용하여 1회전당 자기 검출을 위한 분해능을 높이고, 직접적인 속도 및 회전 방향 그리고 위치 검출이 가

능한 논리 구성을 제안하고자 한다.

이를 위해 그림 4와 같이 4개의 홀 소자를 8극으로 구성된 자기휠 주위에 배치하여 자기식 엔코더를 구성하였다. 여기서 상호 120도의 위상차를 갖는 펄스열을 출력하는 홀 소자 A, B, C는 속도검출을 위한 펄스열의 정보로 이용하고, 상호 직교하는 펄스열을 출력하는 홀 소자 C와 D는 회전방향을 고려해주기 위한 펄스열을 정보로 사용한다. 이와 같은 구성을 통해 1회전당 검출 가능한 최대 펄스수는 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$x = \frac{m \times n}{2d} \text{ [ppr]} \quad (2)$$

여기서  $m$ 은 원형자석의 착자수이고,  $n$ 은 검출된 펄스열의 체배수이고,  $d$ 는 체배된 펄스수의 분주비가 된다.

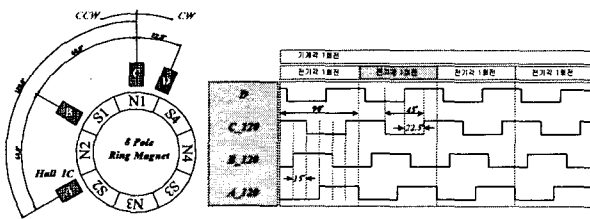
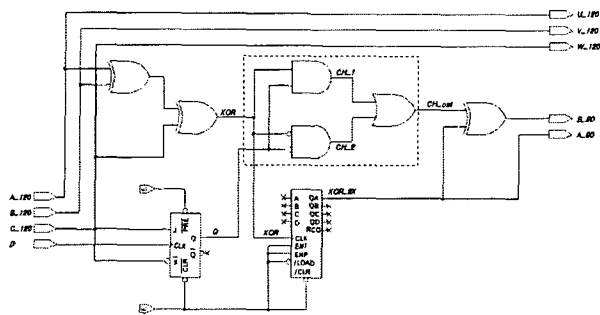


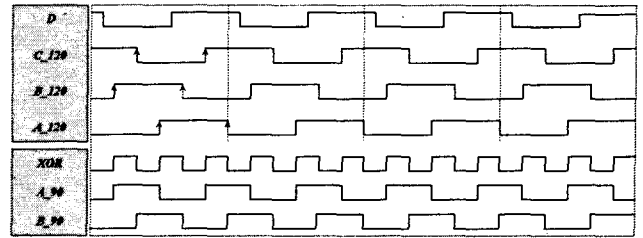
그림 6 제안된 방식을 이용한 자기식 엔코더 구성  
Fig. 6 The composition of magnetic encoder base on the proposed method

식(2)에 의해서 제안된 엔코더의 구성을 통해서 결정되는 1회전당 펄스수는 6[ppr]이 된다 ( $m=8, n=3, d=2$ ). 언급한 식(2)의 도출과정을 고찰하기 위해 그림4와 같이 검출된 자극 신호의 처리과정을 살펴보기로 한다.

그림 5(a)와 같이 홀소자 A, B, C로부터 검출되는 상호 120도 위상차를 갖는 신호는 각각 XOR회로를 거쳐 3 체배( $n$ )를 거침으로써 주어진 자기휠의 착자수( $m$ )를 최대로 활용하게 된다. 이때 얻어진 3체배 신호는 자기휠과 주위에 배치된 홀소자의 기구적인 배치를 고려할 때 최대의 펄스수가 되며, 자기휠의 착자수를 증가시킬 경우 이에 비례하여 체배된 신호도 증가하게 된다.



(a) 논리회로구성  
(a) Composition of Logic circuit



(b) 검출되는 논리신호  
(b) Detected Logic Signal

그림 5 제안된 방식을 이용한 신호처리과정

Fig. 5 Pulse train process flow base on the proposed method

여기서 3체배의 목적은 언급한 바와 같이 최대 펄스열의 검출목적 외에 상호 120도 위상차를 갖는 검출신호로부터 상호 직교하는 즉, 90도 상차각을 갖는 펄스열 A, B를 얻기 위한 기저 클럭으로 사용하기 위함이다.

이를 위해 그림 5(a)에서 3체배수를 입력 클럭으로 하는 74HC193을 사용한 카운터 회로를 적용하였다. 74HC193은 4비트 바이너리업/다운 카운터로서 본 논문에서 설계 목적상  $Q_A$ 의 1비트 출력만을 사용한다.  $Q_A$ 는 3체배된 클럭입력에 대하여 2분주된 출력이 얻어지게 된다. 이때  $Q_A$ 와 3체배 신호를 XOR 논리 연산을 수행할 경우  $Q_A$ 에 직교하는 논리 출력을 얻을 수 있다. 따라서  $Q_A$ 는 그림5(b)에서 A\_90의 논리신호로 표현되고,  $Q_A$ 와 3체배 신호를 XOR 논리 연산한 결과값은 B\_90의 논리신호로 나타난다. 그러므로 120도 상차각을 갖는 3개의 자극검출신호를 상호 직교하는 90도 상차각을 갖는 2개의 논리신호로 변환할 수 있다. 이는 회전속도 연산시 기존의 M/T방법에 의한 속도검출용 단자에 직접적으로 연결하여 사용할 수 있는 장점을 제공할 수 있다.

그러나 3체배된 신호는 회전방향에 무관하게 발생하는 것이기 때문에 3체배된 신호를 74HC193의 클럭입력으로 결정한 상태에서 실제 회전방향을 변경한 경우 그림 5(b)의 A\_90에 대한 B\_90은 회전 방향에 무관하게 항상 앞섬(lead) 혹은 뒤짐(lag)의 관계를 유지하게 되므로 회전방향에 대한 정보를 표현할 수 없게 된다. 이러한 원인은 A\_90의 도출과정이 3체배된 신호를 2분주하여 사용하고 있고, 2분주된 A\_90신호를 다시 3체배된 신호와 XOR논리연산을 수행한 결과값을 B\_90으로 사용하기 때문에 회전방향에 따른 변화를 A\_90과 B\_90의 위상 앞섬 혹은 뒤짐의 결과로 표현할 수 없게 된다. 이와 같은 문제점을 제거하기 위해서는 그림 5(a)와 같이 정회전 혹은 역회전시의 방향 정보에 따라 선택적으로 3체배된 신호를 A\_90과 XOR 논리연산을 수행하면 된다.

정역회전에 대한 방향 정보검출은 홀소자 C와 D의 자극 검출신호를 이용한다. 이는 홀소자 C와 D로부터 검출되는 자극신호는 상호 직교하는 펄스열을 구성하게 되므로, JK 플립플롭을 사용하여 J와 K의 두 입력단자에 홀소자 C의 자극 검출신호 C\_120을 공통입력으로 하고, 입력 클럭을 홀소자 D의 검출신호로 사용하여 D의 상승 에지시 C\_120의 상태값을 참조하면 회전 방향정보를 구할 수 있다. 이때 그림 5(b)에서 JK플립플롭의 상태 출력 Q는 회전방향에 따라서 High

또는 Low 로직을 상태값으로 출력하게 된다.

이로부터 3체배된 신호는 회전방향에 따라 그림 5에서 도시한 바와 같이 CH1과 CH2의 경로를 선택하게 되며, CH2가 선택될 경우는 3체배 신호는 반전되어 출력되어진다. 따라서 회전 방향 변환에 따른 A\_90와 B\_90의 위상 앞섬 및 뒤짐의 관계를 그림6과 같이 나타내게 된다.

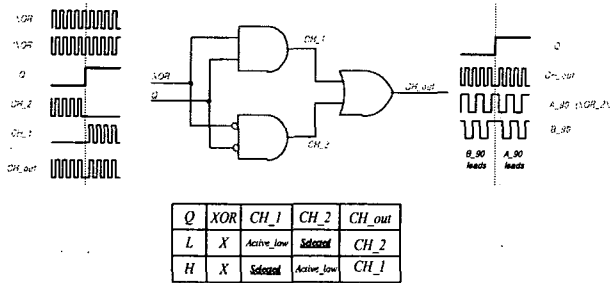


그림 6 회전 방향 판별을 위한 논리 구성

Fig. 6 Logic composition for determination of rotating direction

### 2.3 제안된 방식을 응용한 12[ppr] 엔코더 구성

그림4의 8극의 자기휠과 홀소자의 배치에 의한 각부 출력 구성으로부터 동일한 착자 개수를 갖는 자기휠을 사용하고, 단지 검출용 홀소자의 개수를 6개로 배치한 경우는 그림7의 출력특성을 고려할 수 있다.

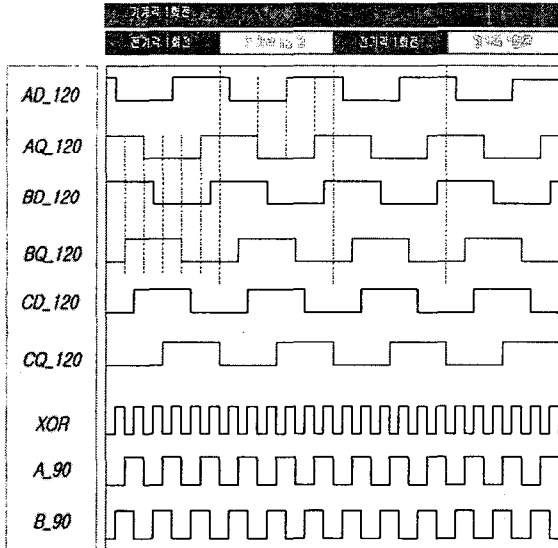


그림 7 제안된 방법을 응용한 12[ppr] 엔코더의 출력특성

Fig. 7 The characteristics of 12[ppr] encoder based on the proposed method.

그림 7에서 AD\_120는 BD\_120과 CD\_120에 대하여 120도의 상차각을 가지고 출력되는 펄스열을 나타낸 것이고, AQ\_120은 AD\_120에 대하여 직교하는 출력 펄스열을 나타낸 것으로 그림 4에서 언급한 방향 정보를 도출하기 위해서 AD\_120를 기준으로 22.5도의 상차각을 가지고 배치한 위치에서 검출한 파형이 된다. 이하 BQ\_120과 CQ\_120도 동일한

과정으로 설명된다. 그림 7에서 알 수 있듯이 8극 자기휠 주위에 6개의 홀소자를 배치한 경우 각각의 소자로부터 검출되는 펄스열의 상하 모서리에서 XOR연산을 수행한 결과 24펄스가 얻어지며 상호 직교하는 A\_90과 B\_90을 얻는 과정에서 반으로 줄어 1회전당 12펄스의 정보를 얻게 된다. 따라서 자기휠의 착자 개수의 변경 또는 배치한 홀소자의 개수를 변경할 경우 1회전당 펄스수의 증가를 기대할 수 있으며, 최적의 선정 기준은 적용되는 회전기의 환경을 고려하여 선택되어질 수 있다. 즉, 자기휠의 크기를 충분히 크게 할 수 있는 경우 착자 개수를 비례하여 증가시킬 수 있다. 이는 자기휠의 직접적인 자화를 통한 방법도 고안할 수 있겠지만 실제 제작상의 과정을 고려할 때 착자 개수에 해당하는 자극편을 분리하여 개별 자화한 다음 이를 조합하여 구성하는 방법도 이용 가능한 수단이 된다. 따라서 제안된 논리구성체계를 적용할 경우 1회전당 펄스수를 충분히 제공함으로써 보다 지속 구간에서의 속도검출특성도 개선될 수 있을 것으로 판단된다.

### 2.4 엔코더 제작 및 시스템 구성

제안된 엔코더의 신호처리를 위한 주요 부분으로 자극 검출부와 속도검출을 위한 신호 처리부로 각각 구성하였다. 자극 검출부 구성은 Allegro사의 홀 소자(형명:3185)를 사용하여 8극으로 착자된 자기휠로부터 자극 검출을 수행하였으며, 특히 사용된 전체 4개의 홀 소자의 배치는 속도 검출을 위한 펄스열을 얻기 위한 목적으로 3개의 홀 소자를 각각 120도 간격으로 하였고, 위치 검출을 위한 펄스열 정보를 얻기 위해서 1개의 홀 소자를 Hall IC A, B, C중에서 C를 기준으로 하여 22.5도 간격으로 배치하였다.

속도 검출부 구성은 홀 소자로부터 검출된 자기 펄스열 신호를 언급한 그림 5의 신호 처리부를 통해 120도의 상차각을 갖는 3개의 검출 펄스열을 상호 직교하는 2개의 A, B 펄스열로 변환하였고, 검출 신호의 노이즈 문제를 고려하여 라인 드라이브 출력을 얻기 위한 변환 소자인 SN75175를 사용하였다. 그리고 이 신호를 인버터의 속도 처리를 위한 입력부에 연결하여 해당 엔코더의 특성을 고찰하였다.

그림 8은 본 연구에서 제작된 엔코더의 출력특성을 고찰하기 위해 사용한 스피들 전동기와 취부된 엔코더의 구성품을 나타낸 그림이다. 사용된 전동기의 출력은 2.4[kW]이고, 최대속도는 48,000[rpm]이 된다.

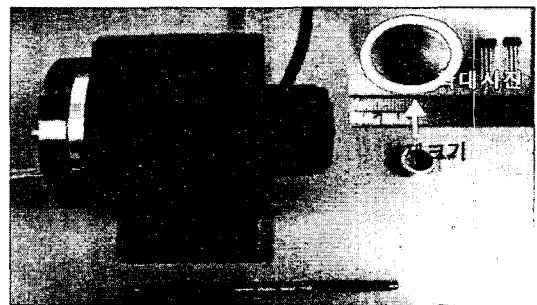


그림 8 적용된 엔코더 구성품 및 전동기 외형

Fig. 8 The encoder components applied and the exterior of motor

스핀들 전동기의 고속 구동에 따른 엔코더의 특성시험은 V/F 방식을 이용한 인버터 드라이브를 통해 스핀들 전동기를 구동함으로써 고찰하였다. 이때의 해당 운전 주파수의 속도검출은 그림 9에 도시한 바와 같이 외부에 디지털 스트로보스코프를 사용하였으며, 이때의 엔코더의 출력 파형과 비교하였다.

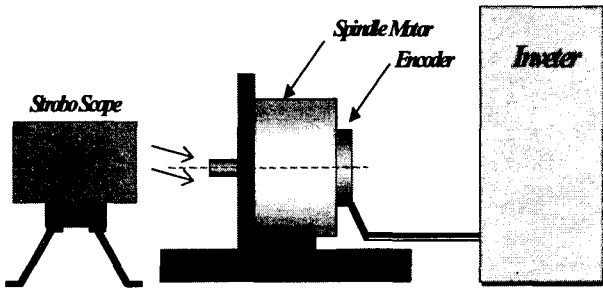


그림 9 측정을 위한 시스템 구성  
Fig. 9 System composition for measurement

3. 실험 결과 및 고찰

그림 10은 2개의 홀 소자를 사용하여 8극으로 착자된 자기필로부터 상호 직교하는 펄스열 A\_90과 B\_90을 각각 나타낸 것으로, 그림에서 Theta로 명기된 부분은 검출된 2개의 펄스열을 제어기에서 M/T방법을 적용하여 계산한 값을 D/A 채널을 통해서 출력한 그림이다. 상술한 바와 같이 2개의 홀 소자를 기구적으로 배치한 경우 검출되는 자기 검출 정보는 별도의 신호 처리없이 회전속도와 방향을 검출할 수 있음을 알 수 있다.

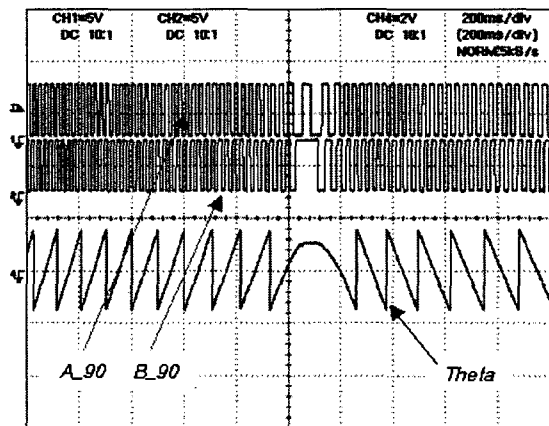


그림 10 기존의 방법 (2 Hall ICs)  
Fig. 10 Conventional method (2 Hall ICs)

그림 11은 제안한 방법에 의해 출력되는 자기 검출 펄스열 A\_90과 B\_90을 보인 것으로, 이때의 Theta는 동일한 방법에 의해 계산된 값을 D/A로 나타낸 것으로, 3개의 120도 상차각을 갖는 펄스열을 본 연구에서 제시한 논리 신호처리를 통해 회전 방향정보를 포함한 2개의 상호 직교하는 펄스열로 처리가 가능함을 알 수 있다.

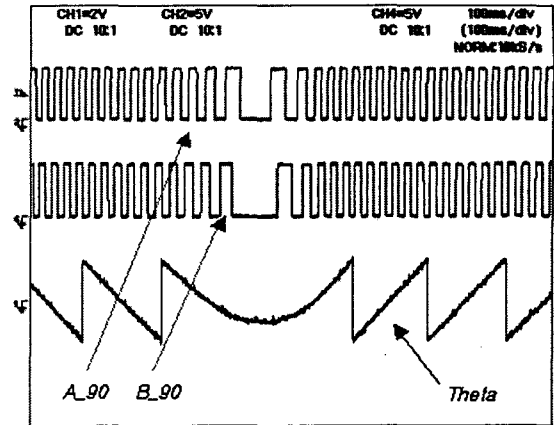
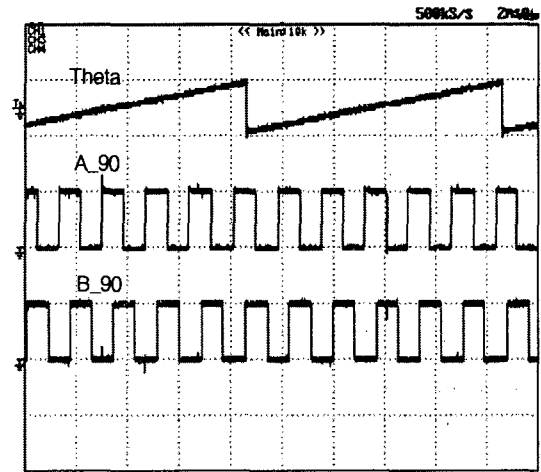
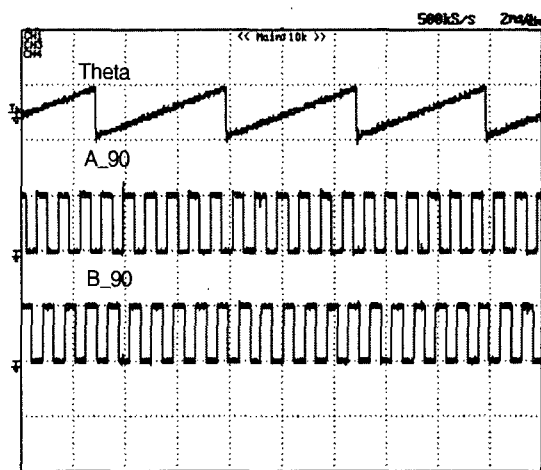


그림 11 제안한 방법 (4 Hall ICs)  
Fig. 11 Proposed method (4 Hall ICs)



(a) 100[Hz]에서의 운전특성  
(a) Operating characteristics at 100[Hz]

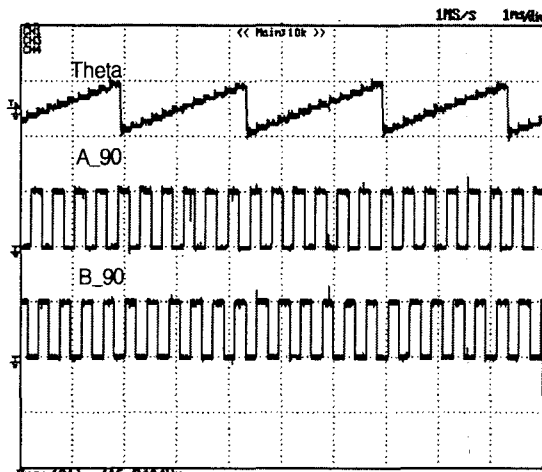


(b) 200[Hz]에서의 운전특성  
(b) Operating characteristics at 200[Hz]

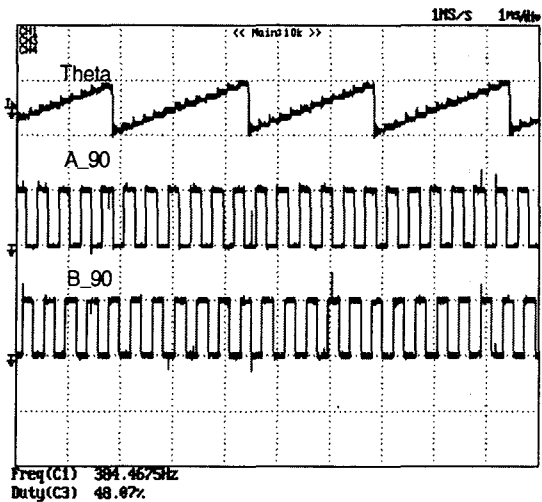
그림 12 제안한 방법의 출력특성(1)  
Fig. 12 Output characteristics of the proposed method(1)

그림 12(a)는 운전 주파수 100[Hz]에서 제안된 자기식 엔코더를 통해 상호 직교하는 출력 A, B를 나타낸 것이다. 이때의 피시험 전동기는 2극기임을 고려할 때 6,000[rpm]으로 회전하게 되며, 이때 발생하는 펄스열의 듀티비는 0.5로 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 12(b)는 운전 주파수 200[Hz]에서 동일한 내용을 고찰한 것으로 12,000[rpm]으로 회전하는 상태에서 발생하는 펄스열 또한 0.5의 듀티비를 유지하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 속도 영역에서는 엔코더로부터 출력되는 펄스열의 대칭성이 유지되므로 센서를 이용한 직접적인 속도검출이 가능한 영역으로 판단할 수 있다.



(a) 400[Hz]에서의 운전특성(1) - duty : 51.69[%]  
 (a) Operating characteristics(1) at 400[Hz]



(b) 400[Hz]에서의 운전특성(2) - duty : 48.07[%]  
 (b) Operating characteristics(2) at 400[Hz]

그림 13 제안한 방법의 출력특성(2)

Fig. 13 Output characteristics of the proposed method(2)

그림 13은 운전 주파수를 400[Hz]로 증가시켜 24,000[rpm]으로 회전하는 상태에서 해당 엔코더의 출력특성을 고찰한 내용이다. 이 경우 엔코더로부터 출력되는 펄스열의 대칭성

이 유지되지 않고 변동함을 확인할 수 있다. 펄스열의 듀티비는 그림 13(a)의 경우 약 0.52에서 그림 13(b)의 경우 0.48로써 변동폭을 가지게 됨을 확인할 수 있다. 이로 인해 제안된 자기식 엔코더를 이용한 직접적인 속도검출은 최대 400[Hz]이하로 제한적임을 알 수 있다. 따라서 피시험 전동기의 경우 최대 800[Hz]의 구동 영역을 고려할 때 400[Hz]이상의 운전 영역에서는 간접적인 속도연산기법이 적용되어지는 것이 타당할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 기존의 자기식 방식을 통한 속도치리에 있어서 회전방향과 속도검출을 위해 부가적으로 요구되는 알고리즘을 대체할 수 있는 새로운 논리 구성을 제시하였다. 성능 평가를 위해 제작한 자기식 엔코더를 최대 48,000[rpm], 2.4[Kw]의 시험 전동기에 취부하여 전동기 구동시 검출되는 120도 위상차를 갖는 3개의 위치 정보로부터 회전 속도와 방향에 따라 상호 직교하는 2개의 펄스열 A, B로 변환함으로써, 이 신호를 제어기내에서 직접적인 속도 정보로 사용할 수 있음을 보였다. 또한 전동기의 운전 주파수에 따른 제안된 엔코더의 출력특성 고찰을 통해 센서를 통한 직접적인 속도 검출이 가능한 영역은 제안된 엔코더의 출력 펄스의 대칭성이 유지되는 최대 400[Hz]이하의 구간으로 제한되며, 부가적으로 이와 같은 고속 회전을 구동하기 위한 속도 정밀도를 높이기 위해서는 센서리스에 의한 간접적인 속도검출기법이 함께 병행되는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 IT기반 나노제어시스템 개발사업의 일환으로 산업자원부 및 주식회사 위아의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Bon-Ho Bae, Seung-Ki Sul, Jeong-Hyeck Kwon and Ji-Seob Byeon, "Implementation of Sensorless Vector Control for Super-High-Speed PMSM of Turbo Compressor", IEEE Trans. on Industrial Application, vol. 39, no. 3, pp. 811~818, 2003.
- [2] K.Miyashita et al. "Integrated magnetic rotary encoders." in Conf. Rec. IECON' 84, pp. 619-624
- [3] Tsuneo Kume, Toshihiro Sawa, Toshitaka Yoshida and Mitsuno Sakamoto, "A high-speed vector controlled spindle motor drive with closed Transition between with encoder control and without encoder control", IEEE Trans. on Industrial Application, vol. 28, no. 2, pp. 421~426, 1992
- [4] Michael T. DiRenzo, "Switched Reluctance Motor Control-Basic Operation and Example Using the TMS320F240", TI Application Report, SPRA420A, February 2000.
- [5] 설승기 저, "전기기기제어론" chapter2, pp.84~96
- [6] <http://www.heidenhein.com/products>

[7] <http://www.allegromicro.com/sf/3185>

[8] <http://www.allegromicro.com/techpub2/an/an27701.pdf>

## 저 자 소 개



### 이 상 훈(李相勳)

1972년생. 1997년 경성대 전기공학과 졸업. 1999년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 박사과정 수료. 2001년~2002년 9월 KT전기 기술연구소 주임 연구원. 2002년 9월~현재 OTIS-LG 엘리베이터 모터설계팀



### 김 철 우(金喆禹)

1942년생. 1969년 부산대 전기공학과 졸업. 1974년 일본 전기통신대 전자공학과 졸업(석사). 1986년 중앙대 전기공학과 졸업(박사). 1975년~현재 부산대학교 전자전기통신공학부 교수. 당 학회 자문위원.



### 최 철(崔哲)

1963년 11월 3일생. 1987년 중앙대 전기공학과 졸업. 1995년 경남대 전자공학과 졸업(석사). 1998년 부산대 전기공학과 졸업(석사). 2005년 부산대 전기공학과 박사. 1987년~1999년 LG산전 창원공장 주차설비팀장. 1999년~현재 OTIS.LG 서보R&D팀 부장